

A Study on Diurnal Variations of Sea Surface Temperature over the Ocean Using VISSR on board GMS

著者	棚橋 修一
号	43
学位授与番号	1153
URL	http://hdl.handle.net/10097/38794

氏名・(本籍)	たな はし しゅう いち 棚 橋 修 一
学位の種類	博 士 (理 学)
学位記番号	理 第 1 1 5 3 号
学位授与年月日	平 成 12 年 3 月 8 日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
研究科, 専攻	昭和60年3月25日 名古屋大学大学院理学研究科 (博士課程博士課程前期2年の課程) 大気水圏科学専攻
学位論文題目	A Study on Diurnal Variations of Sea Surface Temperature over the Ocean Using VISSR on board GMS (GMS 衛星搭載 VISSR を用いた海洋における海面水温日変化に関する研究)
論文審査委員	(主査) 教 授 川 村 宏 教 授 花 輪 公 雄, 岩 崎 俊 樹, 浅 野 正 二 教 授 中 澤 高 清, 安 田 延 寿

論 文 目 次

Chapter 1 General introduction

- 1.1 Background
- 1.2 Estimation by satellite data
- 1.3 Scope of the present study

Chapter 2 Data and method

- 2.1 Data processing system
 - 2.1.1 Hardware system and integration
 - 2.1.2 Performance of the system
- 2.2 GMS data procedure
 - 2.2.1 GMS data
 - 2.2.2 Coordinate transformation
 - 2.2.3 Geographic correction
 - 2.2.4 Sunlitter correction
- 2.3 GMS data configuration
 - 2.3.1 VISSR data
 - 2.3.2 Calibration information
- 2.4 ADEOS/NSCAT data

Chapter 3 Insolation estimation by GMS/VISSR

- 3.1 Introduction
 - 3.1.1 Background

	3.1.2	Needs of insolation information
3.2		Insolation estimation model
3.3		Validation
	3.3.1	Ground-truth insolation and validation
	3.3.2	Sea-truth insolation and validation
3.4		Products
3.5		Improvement of estimating by use of high frequencies data
	3.5.1	Influence of navigation error
	3.5.2	Improvement of estimation
	3.5.3	Improvement and temporal variation of insolation
3.6		Automatic adjustment of physical parameters
	3.6.1	Automatic adjustment algorithm
	3.6.2	Improvement of local estimation
	3.6.3	Insolation attenuation parameter
	3.6.4	Discussion
3.7		Methodology for insolation estimation over the GMS observation coverage
	3.7.1	Inadequate data
	3.7.2	Methodology
	3.7.3	Verification
	3.7.4	Consequent
3.8		Summary
Chapter 4		SST estimation by GMS/VISSR
	4.1	Introduction
	4.2	Collected VISSR data
	4.3	Cloud detection
	4.4	Buoy data and match-up data
	4.5	Temporal variation of calibration coefficient
	4.6	Noise reduction for quantization
	4.7	SST estimation algorithm and accuracy
	4.8	Accuracy of estimation
	4.9	Discussion
	4.10	Summary
Chapter 5		Diurnal variation of sea surface temperature over the ocean
	5.1	Introduction
	5.1.1	Background
	5.1.2	Ocean surface energy budget relating to SST diurnal variation
	5.1.3	SST warming period and area
	5.2	Data and methodology
	5.2.1	SST diurnal variation derived from GMS/VISSR

5.2.2	SST diurnal warming estimation model (Model A)
5.2.3	SST diurnal warming estimation model (Model B)
5.3	Results
5.3.1	SST diurnal variations and insolation in 1996 and 1997
5.3.2	Estimation of SST diurnal variations using models
5.3.3	Comparison between the Δ SST derived by GMS/VISSR and estimates by models
5.3.4	Discussion
5.4	Summary
Chapter 6 Conclusion	
Appendix	
Acknowledgements	
References	
Table and figures	

論文内容要旨

海面へ到達する日射は殆ど海洋に吸収され、熱エネルギーに変換される。これにより海面水温 (SST) が変化し、地球の大気と海洋の運動が駆動される。海面到達日射量の日変化に伴って、SST の日昇温と降温が起こる。本研究の目的は GMS/VISSR (「ひまわり」可視赤外放射計) データを用いて、広域海面に到達する日射量と SST 推定手法を確立し、日射により引き起こされる SST の日変化を調べることである。GMS/VISSR は静止軌道に位置し、赤道域から南北半球の高緯度までの広大な空間を視野として、1 時間に 1 回の高頻度観測を行うことができる。しかも、地球上で最も多くの太陽起源熱エネルギーを吸収する赤道太平洋の西半分を観測しているので、本研究の目的に最も相応しい衛星観測センサーである。

第一章では、本研究の背景と位置づけを述べた。

第二章では、衛星画像データ処理システムのハードウェア概要の説明に続いて、GMS の画像データの特性和その処理について記述した。衛星データの直接受信、高速計算処理、ネットワーク技術の結合により、高速に地上到達日射量データを計算し、配信できるシステムを構築した。このシステムにより、GMS データ受信後 5 分以内にインターネットを介して日射量を配信でき、準リアルタイムにその計算結果を活用できることが示された。

さらに、第三、四章の物理量推定において不可欠な GMS 画像の座標変換、地理的位置補正、サングリッタの補正に関する方法を説明し、GMS/VISSR センサーの校正情報について記述した。また、第五章で使用する ADEOS (「みどり」) 衛星搭載の NSCAT (NASA 散乱計) データから得られる海上風のデータについて簡単に記述した。

第三章では、GMS/VISSR 可視データを用いた日射量推定についてまとめた。衛星観測範囲を晴天域と雲域に分け、それぞれの場合について大気上端での日射量が、地上に到達するまでの間に大気と雲によって減衰する効果をパラメータ化した。日射量の推定に当たって、それらのパラメータを衛星観測値と気候値から推定し、画素毎に日射量を推定する。日射減衰に大きく寄与する大気中の水蒸気量は、GMS/VISSR 赤外観測のスプリットウインドウ項から求めた。推定に用いる各種の係数は、1 年以上にわたる日本周辺の広範囲の地上・海上日射観測値を用いてチューニングした。本研究で開発した日射量推

定モデルを使用して、1996年1月から1997年12月までの毎時の日射量画像データを作成した。画像の領域は北緯60度から南緯60度、東経80度から西経160度をカバーしている。日本全国67箇所の気象官署の日射量データ及び船舶による観測結果と比較検証した結果、日平均値で8～14%のrms（二乗平均）誤差で、1時間平均値のrms誤差は約20%で推定できることを確認した。

台風臨時観測で得られた15分毎のGMS画像データ（1997年8月1日～19日）を使用することにより、1時間平均日射推定値の精度が向上することが明らかになった。位置補正を行った高頻度観測画像を用いることにより、風による雲の移流の影響が軽減されるので、30分毎の画像の使用でも1時間日射量の推定は十分に改善される。地理的高度と勾配が、晴天日に地形性の積雲が発達する場合の日射推定の信頼性を決める要因であることが分かった。近年、上述の高頻度連続観測による毎時日射推定値の改善が、衛星システムの発展により可能となりつつある。例えば、GMS 5号とFY-2（中国の静止気象衛星）の連携（観測時間帯を30分ずらしている）により、毎時2観測、又はそれ以上の観測が可能となっている。

日射量推定精度に大きな影響を及ぼす雲による日射減衰を表わすパラメータを自動的にチューニングするアルゴリズムを開発した。輝度温度とアルベードのバイスペクトルにより表わされるマトリックスで雲による減衰係数を設定することにより、推定精度が向上した。

第四章では、GMS/VISSR 赤外観測データを用いた海面水温推定（VISSR-SST）について記述した。SST 推定において重要な雲域除去のアルゴリズムを、新たに開発した。赤外の校正テーブルに±12時間の移動平均を適用することにより、不規則なSST 推定誤差を改善することができた。輝度温度差の時空間平均による量子化のノイズ軽減が、よりよい SST 推定をもたらした。NOAA 衛星に代表される極軌道衛星赤外観測とは異なり、GMS/VISSR 観測は大きな衛星天頂角によって一回の観測で広範囲をカバーすることができる。そこで、スプリットウインドウ項と輝度温度項に含まれる衛星天頂角の重要性を考慮しながら、様々な MCSST（多チャンネル海面水温）法を開発した。NOAA/AVHRR（NOAA 改良型高分解能放射計）でよく用いられるMCSST 法に加えて、SST 気候値を加えたNLSST（非線形海面水温）法とNLSST 法に輝度温度の時間平均項を加えた TASST（時間平均海面水温）法を開発した。

1996年から1997年の2年間について、海洋観測漂流ブイによる現場観測海面水温を用いて、約6000点のマッチアップ・データを作成し、VISSR-SST 推定アルゴリズムのチューニングと精度検証を行った。その結果、従来の研究では1.4℃程度あったrms誤差を、TASST 法により約0.8℃まで改善することができた。三章で作成した日射量画像と同様の範囲について、1996年1月から1997年12月までの毎時のデータを用いて、0.05度の空間分解能のSST 画像データを作成した。

第五章では、GMS/VISSR 観測から得られた毎時の広範囲の海面日射量と海面水温の画像データを用いて、広域海洋における日射に起因するSST 日変化を調べた。VISSR-SST は約0.8℃のrms誤差があるので、各画素のSST 時系列データには、このノイズが含まれていると考えられる。そこで、顕著な日昇温をもたらす晴天域が充分広いことを考慮して、この時系列に含まれるノイズを軽減するために、SST 画像データに20×20画素の空間フィルターをかけた。SST 日変化の特性から、その最小値が現地時刻で午前0時から午前9時の間に起こるとし、SST の最大値が午前10時から午後6時の間で起こるとした。SST 観測が可能な日について、角画素毎にそれらの残差をとり、SST 日変化（ $\Delta \text{SST}_{\text{gms}}$ ）とした。

GMS/VISSR により推定された $\Delta \text{SST}_{\text{gms}}$ の月平均分布と月平均日射量分布、及びADEOS/NSCATにより推定された月平均風速分布から、日射が強く風の弱い領域でSST 日昇温が起きていることが分かった。このような広い海域で起こるSST 日変化を調べるため、二種類のSST 日昇温モデルを使用した。一つは、Price et al. (1986, 1987) を参考に、気候値から推定した緯度帯毎の海面熱損失を使用して、本研究で開発したモデル（Model A）であり、もう一方はKantha and Clayson (1994) の海洋混合層モデルを使用して、Webster et al. (1996) が開発した熱帯域対象のモデル（Model B）である。これらのSST 日昇温モデ

ルの入力として、三章で記述した日射データと NSCAT から求めた風データを使用し、それぞれのモデルの日変化から $\Delta \text{SST}_{\text{gms}}$ と同様な手法で、各々の SST 日変化 $\Delta \text{SST}_{\text{model-A}}$ と $\Delta \text{SST}_{\text{model-B}}$ を求めた。

1997年6月15日から17日の $\Delta \text{SST}_{\text{model-A}}$ と $\Delta \text{SST}_{\text{gms}}$ の比較では、細かな点で僅かな違いはあるものの、両者の分布傾向は似たものとなっていた。マリアナ諸島付近に台風が発達し、台風と日本付近の前線帯との間の高圧帯で SST 昇温が起こっている。これらの領域は、風が弱く、雲が少なく日射が多いところである。 $\Delta \text{SST}_{\text{model-A}}$ と $\Delta \text{SST}_{\text{gms}}$ について、GMS 推定日射量と NSCAT 海上風速との関係を3次元の散布図で表したところ、SST 日昇温が大きい太平洋高圧帯では、共に日射量と風速に対する良い対応関係が見られた。

SST 日昇温は気象条件に依存するので、SST 昇温域は日毎に変わる。しかし、風が弱く日射が強い領域は、1カ月の時間スケールでの大規模な気圧配置との関連において特定できる可能性がある。 $\Delta \text{SST}_{\text{gms}}$ と $\Delta \text{SST}_{\text{model-A}}$ の月平均分布を比較した結果、分布傾向は類似していた。 $\Delta \text{SST}_{\text{model-B}}$ は熱帯域では Model A と同様の傾向を示すが、中高緯度では ΔSST を過小評価する傾向があった。

雲のある海域では顕著な日昇温が起らないことを仮定して、1997年6月の毎日の $\Delta \text{SST}_{\text{gms}}$ 画像を解析した。晴天域で 1°C 以上の SST 日昇温があった海域は GMS 観測海域の13%を超え、 2°C 以上の SST 日昇温があった領域は約3%であった。広域海洋の SST 日変化の地域特性を季節毎に調べた結果、SST 日昇温が夏半球の中緯度帯、及び熱帯の陸近くで多く起こることが分かった。

第六章において、本研究をまとめた。

本研究により、GMS/VISSR が観測する広範囲の海域で、毎時日射量と毎時海面水温を高精度で推定することが可能となった。これまで観測が難しかった広域海洋の SST 日昇温の研究を通して、これらの VISSR 推定値が大気海洋相互作用の研究に有用であることが実証された。今後、このような静止気象衛星の特性をよく活かした広域・高頻度の海面物理量推定値が、大気・海洋予測モデルにおける境界条件として活用されるようになれば、大気や海洋の物理過程の理解や地球環境変動研究に大いに貢献できると考える。

論文審査の結果の要旨

海面へ到達する日射は殆ど海洋に吸収され、熱エネルギーに変換される。これによる海面水温（SST）が変化し、地球の大気と海洋の運動が駆動される。本研究の目的は GMS/VISSR（「ひまわり」可視赤外放射計）データを用いて、広域海面に到達する日射量と SST 推定手法を確立し、日射により引き起こされる SST の日変化を調べることである。

まず、研究遂行の基盤となる衛星画像データ処理システムを開発し、衛星データ直接受信、高速計算処理、ネットワーク技術の結合により、高速計算・配信できるシステムを開発した。その結果、GMS データ受信後、5 分以内にインターネットを介して計算結果を取得し、リアルタイムに活用することが可能になった。このシステムを用いて、GMS 可視データによる日射量推定手法を開発した。日射減衰に大きく寄与する大気中の水蒸気量は、GMS 赤外観測のスプリットウインドウ項から求めた。本研究で推定した日射量と船舶による観測結果と比較検証した結果、日平均値で 8 %、1 時間平均値で約 20% の rms（二乗平均）誤差で推定できることが分かった。赤外観測データを用いた海面水温推定では、赤外校正テーブルの新しい取り扱い、輝度温度差の時空間平均による量子化のノイズ軽減、衛星天頂角の重要性を考慮した新しい推定式の開発により、従来の研究では 1.4℃ 程度あった rms 誤差を約 0.8℃ まで改善することができた。

新しく開発された毎時の GMS 観測海面日射量と海面水温を用いて、広域海洋における日射に起因する SST 日変化（ $\Delta \text{SST}_{\text{gms}}$ ）を調べた。 $\Delta \text{SST}_{\text{gms}}$ の月平均分布と月平均日射量分布、及び ADEOS/NSCAT 月平均風速分布から、日射が強く風の弱い領域で SST 日昇温が起きていることが明らかとなった。この結果を簡単なモデルによって推定した結果と比較したところ、短期間の比較でも 1 ケ月の長期にわたる比較でも両者はよく似た傾向を示すことが分かった。

このような現象の広範囲観測と研究は大変難しく、これまできちんと為されてこなかったが、論文提出者の高度な研究能力と学識によって初めて達成された。したがって、棚橋修一提出の学位論文は、博士（理学）の学位論文として合格と認める。